

На правах рукописи



Шкаберда Ольга Анатольевна

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ
КЛИМАТА КАМЧАТКИ**

Специальность 25.00.30 - метеорология, климатология, агрометеорология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Казань – 2015

Работа выполнена на кафедре океанологии и гидрометеорологии Школы
естественных наук Дальневосточного федерального университета

Научный руководитель:	кандидат географических наук, доцент кафедры океанологии и гидрометеорологии Дальневосточного федерального университета, Василевская Любовь Николаевна
Официальные оппоненты:	доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУ «Гидрометцентр России», Васильев Александр Александрович кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии и охраны атмосферы Пермского государственного национального исследовательского университета, Ветров Андрей Леонидович
Ведущая организация:	ФГБУ Дальневосточный научно-исследовательский гидрометеорологический институт

Защита состоится «26» февраля 2015 г. в 15 часов на заседании Диссертационного совета Д 212.081.20 при Казанском (Приволжском) федеральном университете по адресу: 420097, г. Казань, ул. Товарищеская, д. 5, Институт экологии и природопользования КФУ, ауд. 315.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского Казанского федерального университета. Электронная версия автореферата размещена на официальном сайте Казанского федерального университета (<http://kpfu.ru/>).

Ваш отзыв на автореферат просим направлять по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, Казанский федеральный университет, отдел аттестации научно-педагогических кадров. Факс: (843) 2337867. E-mail: 1aotdel@kpfu.ru.

Автореферат разослан «26» января 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Ю.Г. Хабутдинов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Изменение климата Земли в последние десятилетия является неоспоримым фактом. По мнению ряда ученых - это природные колебания, другие же считают, что это - направленное изменение климата, обусловленное вмешательством человека в природные процессы глобального масштаба. На Камчатке, которая удалена от основных центров хозяйственной активности человека, также происходят существенные изменения в климатической системе. В прибрежных водах Камчатки ведется активная рыбохозяйственная деятельность, разработка морских и прибрежных ресурсов, которые зависят от климата и его изменений. Формирование сырьевой базы - основы промысла - происходит под воздействием гидрометеорологических условий, их изменений и изменчивости.

Актуальность темы определяется тем, что несмотря на определенный прогресс в исследованиях по изменению климата Дальнего Востока, которые в основном посвящены обширным территориям и акваториям, более детальные работы регионального характера единичны, а для Камчатки современные публикации попросту отсутствуют. Содержащийся в справочниках и нормативных изданиях материал устарел, а оценки современных изменений климатических ресурсов, особенно в условиях меняющегося климата, должны быть регулярно обновляемыми, основанными на новейшей доступной информации.

Цель работы: изучение особенностей изменения основных климатических параметров в различных районах Камчатки по е.с.сезонам и оценка влияния атмосферной циркуляции на эти изменения.

Для достижения цели решались следующие задачи:

- изучение режимных характеристик скорости ветра, температуры воздуха, атмосферных осадков и оценивание структуры рядов климатических параметров;
- изучение изменчивости и изменений климатических параметров по е.с.сезонам в климатических районах Камчатки во второй половине XX и в начале XXI века (1951-2009 гг.);
- выявление статистических связей климатических параметров с индексами региональной и глобальной атмосферной циркуляции;
- оценка вклада атмосферной циркуляции в периодические и непериодические колебания климатических параметров;
- выявление возможностей использования данных о состоянии циркуляции над АТР для долгосрочного прогнозирования температурно-влажностного режима на Камчатке.

Объект исследования: скорость приземного ветра, температура воздуха и атмосферные осадки на полуострове Камчатка, температура воды в реперных районах Охотского и Берингова морей в период 1951-2009 гг.

Предмет исследования:

- статистическое оценивание временных метеорологических рядов;
- пространственно-временные показатели приземного ветра, температуры воздуха и атмосферных осадков месячного, сезонного (е.с.с.) и годового разрешений;

- временные тенденции в исследуемых метеорологических рядах;
- связи климатических параметров с индексами атмосферной циркуляции регионального и глобального масштаба.

Методическая основа: оценки региональных изменений климата на территории Камчатки получены с привлечением дисперсионного, спектрального, корреляционного, тренд-анализа, графических методов. Использовались пакеты программ «Excel», «XLSTAT», «Surfer», включающие в себя стандартные методы статистической обработки рядов наблюдений.

Методологическая основа: исследование выполнено с привлечением методов и методики известных ученых российской школы долгосрочного прогнозирования; базируется на современных научных исследованиях изменений климата, разработанных международным гидрометеорологическим научным сообществом и оценочных докладах МГЭИК и Росгидромета.

Исходные данные (месячного разрешения): температура воздуха на реперных метеорологических станциях за 1951-2009 гг. (Камчатское УГМС) и на трех длиннорядных станциях за 1914-2010 гг. (<http://www.meteo.ru/>); суммы атмосферных осадков за 1956 - 2009 гг. (Камчатское УГМС); скорость приземного ветра за 1966-2009 гг. (Камчатское УГМС); приземное давление на станциях Корф, о. Беринга за 1936-2010 гг. (<http://www.meteo.ru/>); температура поверхности океана (ТПО) в репрезентативных районах Охотского и Берингова морей за апрель-декабрь 1950-2009 гг. - расчет по сеточному массиву COBE-collection, JMA (лаборатория промысловой океанографии ТИНРО); параметры центров действия атмосферы (Справочная пособие ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012); календарь типов атмосферной циркуляции А.М. Поляковой за 1949-1998 гг.; климатические индексы: WP, PDO, PNA, ЮК, АД, NAO, АО, СП и Е.Н. Блиновой за 1951-2009 гг.

Научная новизна результатов:

- получен ряд характеристик температурно-влажностного режима: экстремумы годового и сезонного разрешения, индекс засушливости Д.А. Педя, двумерные таблицы повторяемости аномалий температуры воздуха и атмосферных осадков;
- предложен авторский индекс «берингоморский», характеризующий влияние зональных атмосферных переносов в западной части Берингова моря на климат Камчатки;
- выявлены современные тенденции изменения годовых и сезонных (е.с.с.) скоростей ветра, температуры воздуха и атмосферных осадков в климатических районах Камчатки;
- карта-схема сезонной изменчивости климата в различных районах Камчатки;
- произведено районирование территории Камчатки по однородности изменения атмосферных осадков в теплое и холодное полугодия и в целом за год;
- установлены связи между вариациями ТПО в регионе и климатическими параметрами на Камчатке;
- установлены связи климатических параметров с индексами атмосферной циркуляции.

Практическая значимость:

- режимные характеристики скорости ветра, температуры воздуха и атмосферных осадков, рассчитанные за период 1951-2009 гг., будут использованы в практике Камчатского УГМС;
- использование двумерных таблиц повторяемости аномалий температуры и осадков в отделе ДПП ДВНИГМИ при составлении долгосрочных метеорологических прогнозов для Камчатки методом Г.В. Свинухова;
- выявленные связи между климатическими параметрами и индексами атмосферной циркуляции найдут применение в ТИПРО при составлении прогнозов гидрометеорологической обстановки на предстоящий год и расчете ОДУ;
- использование результатов работы в учебном процессе по направлению «Гидрометеорология» при чтении лекций, проведении лабораторных работ по курсам «Долгосрочные метеорологические прогнозы», «Климатология», «Региональная синоптика», «Прикладная климатология».

Результаты исследования изменения регионального климата использованы при выполнении НИР Минобрнауки РФ: № 01201176918 «Разработка программного комплекса и методик анализа синоптической и спутниковой информации для технологий мониторинга и прогнозирования опасных синоптических процессов по дальневосточным приморским территориям»; № 14.А18.21.0637 «Изменение климата Земли и его влияние на Дальневосточный регион за последние 100 лет»

Положения, выносимые на защиту:

1. Устойчивая тенденция уменьшения в периоде 1966-2009 гг. среднегодовых и сезонных скоростей приземного ветра (особенно в холодное полугодие) на большей части территории и незначительное их увеличение на восточном побережье (обусловленное повышением скоростей летом и весной). Авторский индекс - «беринговоморский» (БИ).
2. Статистически значимая тенденция потепления в периоде 1951-2009 гг. (на 0,6°C -1,5°C), наиболее выраженная в е.с.сезоны предзимье, 2-ая половина зимы и незначительное похолодание на крайнем севере в 1-ую половину зимы. Уменьшение «континентальности» климата (на большей части полуострова) и температурного контраста между западным и восточным побережьями.
3. Устойчивое уменьшение атмосферных осадков за 1956-2009 гг. в е.с.сезон предзимье и повышение в е.с.сезон осени. Наступление эпохи пониженных годовых осадков с начала 80-х годов XX столетия. Повышение атмосферной засушливости в е.с.сезон лето на западном, восточном побережьях и в долине р. Камчатка.
4. Значимые связи климатических параметров в различных районах Камчатки с состоянием атмосферной циркуляции над азиатско-тихоокеанским регионом.

Достоверность и обоснованность полученных результатов и выводов определяется привлечением стандартной метеорологической информации, использованием объективных методов статистического анализа и подтверждается статистической оценкой обоснованности результатов.

Апробация результатов. Основные положения работы и полученные результаты представлены на: 9-10-ой научных конференциях ДВГУ (Владивосток, 2009 и 2010 гг.);

XXV Генеральной Ассамблее МГТС (Мельбурн, 2011 г.); 2-ом международном симпозиуме «Effects of Climate Change on the World's Oceans» (Корея, 2012 г.); МНК по региональным проблемам гидрометеорологии мониторинга окружающей среды (Казань 2012 г.); PICES 2012, (Япония) и 2014 (Корея); 2-ом Российско-китайском симпозиуме по морским наукам (Владивосток 2012 г.); региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых ШЕН ДВФУ (Владивосток, 2013 г.); МНК «Дистанционное зондирование окружающей среды: научные и прикладные исследования в Азиатско-Тихоокеанском регионе» (Владивосток, 2013 г.); доклады на научных семинарах кафедры океанологии и гидрометеорологии ДВФУ, лаборатории промысловой океанографии ТИНРО (Владивосток, 2012-2014 гг.) и Камчатского УГМС (Петропавловск-Камчатский, 2014 г.); доклад на научно-практической конференции «Природно-ресурсный потенциал регионального развития Азиатской России» (Владивосток, 2014 г.).

Публикации. Всего по теме диссертации опубликовано 15 научных работ, в том числе 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК.

Личный вклад соискателя. Автором поставлены цели и задачи исследования, выбраны методы обработки и анализа исходных данных. Выполнена статистическая обработка метеорологического массива данных по стандартным программам, проведен пространственно-временной анализ и получены основные выводы.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка использованных источников (193) и приложения. Объем диссертации составляет 235 страниц, включая 81 таблицу, 73 рисунка, 8 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит общие сведения о диссертации, ее актуальности. Сформулированы цели, задачи исследования и основные положения, выносимые на защиту. Изложены научная новизна и практическая значимость результатов работы.

В первой главе приведен обзор научных исследований, посвященных проблеме изменения климата и вопросов, касающихся причин современного потепления. Камчатка, образно говоря «погружена» в океан, поэтому особое внимание уделялось публикациям дальневосточных метеорологов и океанологов, исследующих изменения гидрометеорологических условий в дальневосточном регионе.

Во второй главе дана характеристика: географического положения и рельефа; уникальности природно-гидрометеорологического комплекса Камчатки (вулканы, муссоны и циклоническая деятельность); климатического районирования В.И. Кондратюка, согласно которому, на полуострове выделяются: западный, восточный, северный, горный, южный районы и долина р. Камчатка.

В третьей главе обоснован подход к изучению изменений климата на Камчатке по естественным синоптическим сезонам (е.с.с.): предзимье (октябрь-ноябрь), 1-ая половина зимы (декабрь-январь), 2-ая половина зимы (февраль-март), весна (апрель-май), лето (июнь-июль), осень (август-сентябрь). Рассматриваются понятия циркуляционной эпохи; определенных методологических стандартов, включающих понимание изменчивости и изменения климата; базового периода; реперных метеорологических станций и климатологической неоднородности рядов. Описываются массивы исходных данных и методы анализа временных рядов климатических параметров. По статистическим характеристикам метеорологические ряды оценивались на близость к нормальному закону распределения, на климатологическую и статистическую однородность распределения. Большая часть статистических методов, применяемых в работе, исходит из предположе-

ния нормальности распределения изучаемых данных. Проверка на близость к нормальному закону проводилась по схожести трех статистик ряда (среднего, моды и медианы) и по критерию «С», показывающему отношение размаха изменчивости ряда к его стандартному отклонению. Так же привлекались различные критерии согласия: Шапиро-Уилка, Андерсона-Дарлинга, Харке-Бера и Лиллиефорса. Программная реализация тестирования выполнена с использованием процедур пакета «XLSTAT».

Для оценивания однородности (стационарности) рядов температуры воздуха (ТВ) привлекались критерии согласия Каппа-Фишера и Бартлетта-Колмогорова-Смирнова; для рядов сумм атмосферных осадков (САО) - параметрические критерии Фишера и Стьюдента и непараметрический - Краскела-Уаллиса.

Исследование динамики метеорологических величин проводилось с помощью аналитических и графических приемов: спектральный, корреляционный анализ, метод последовательного рангового осреднения Афанасьева, интегрально-разностных кривых и временных разрезов аномалий ТВ. Показано, что статистически обоснованными являются колебания в многолетнем ходе параметров, не превышающие величины отношения $n/4$, где n - длина исследуемого временного ряда, то есть для нашего исследования - это период колебаний не более 15 лет. Оценка линейных трендов на предмет статистической значимости производилась с привлечением критерия Стьюдента - t .

Все статистические результаты, приведенные в работе, основаны на достоверных оценках, полученных на уровне значимости менее 5%, т.е. с доверительной вероятностью более 95%.

В четвертой главе проведена статистическая оценка временных метеорологических рядов и рассчитаны их статистические характеристики.

Все исследуемые ряды являются климатологически однородными и представительными для генеральных совокупностей. За редким исключением они близки к нормальному закону распределения, с определенной долей асимметрии. Ряды осадков статистически однородны, а температуры - неоднородны (кроме рядов в 1-ую половину зимы).

Проанализированы пространственные и временные особенности режима ТВ, САО и приземного ветра. Особое внимание уделено изучению периодических и непериодических колебаний климатических параметров в е.с.сезоны в климатических районах Камчатки.

Ветер. Самые значительные годовые скорости характерны для крайнего юга (9,2 м/с) и юго-востока (6,8 м/с), а незначительные - для севера полуострова (4,3 м/с). На западном и восточном побережьях средняя годовая скорость составляет от 3 до 5 м/с.

По мнению многих исследователей территория Камчатки относится к муссонной климатической области, по расчетам других - лишь отдельные участки полуострова. По нашим результатам (табл.1) четкой смены сезонных муссонных потоков, к примеру, как на юге Приморья, не происходит.

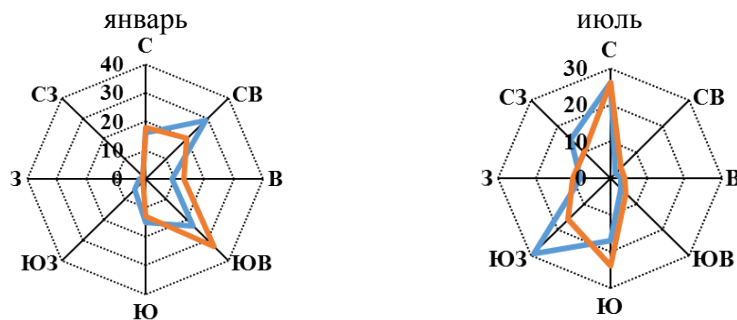
Таблица 1

Смена преобладающих (более 40%) направлений ветра в течение года

Район	Холодное полугодие → теплое полугодие
Западное побережье	СВ, С (XII-III) → Ю, ЮЗ (VI-VIII); на северо-западе Ю, ЮВ (X-XI)
Северо-восточное побережье	СВ, С (XI-IV) → Ю, ЮЗ (V-VI)
Юго-восточное побережье	СЗ(X-III) → ЮВ (VI-VII)
Север	В (I-IV) → З (VI-VII)
Долина р. Камчатка	СВ, С и ЮЗ равной повторяемости в течение года
Горный район	СЗ, С (I-II) → ЮВ, Ю (VI-VII)
Юг	СЗ -преобладающее в течение года

Лишь на западном и восточном побережьях в течение большей части холодного периода (4-6 месяцев) преобладают ветры северных румбов (тыловой части алеутской депрессии), а противоположные им ветры южных румбов, наблюдаются непродолжительное время, в отдельные 1-2 летних месяца (время отсутствия алеутской депрессии). Поэтому, на наш взгляд, только на западном и восточном побережьях Камчатки прослеживаются признаки проявления дальневосточного муссона, ярче выраженного в холодный период года.

Для оценки устойчивости муссонных потоков проведен сравнительный анализ повторяемости направлений ветра в январе и июле на станциях западного и восточного побережий. Итак, в январе на севере западного побережья произошло уменьшение повторяемости ветров северо-восточного направления (на 10%) при одновременном увеличении юго-восточных ветров (рис. 1). На юге же западного побережья отмечается заметное увеличение ветров восточного направления (на 11%).



Условные обозначения: синий цвет-период 1936-1960 гг.; красный цвет - 1966-2010 гг.

Рисунок 1. Повторяемость ветров различных направлений на западном побережье в январе и июле (Усть-Хайрюзово)

В многолетнем ходе годовых скоростей ветра на полуострове, за исключением восточного побережья, проявляется статистически значимый отрицательный тренд (рис. 2а). Наибольший вклад в уменьшение годовой скорости ветра вносит холодный сезон (на севере, западном и северо-восточном побережьях). В долине р. Камчатка ветры значительно уменьшились летом, а вот на крайнем юге - весной и зимой. На восточном побережье незначительный рост годовых скоростей ветра обусловлен их повышением весной и летом. Уменьшение годовых скоростей ветра на северо-востоке и юге началось с начала 1980-х, на западном побережье - с 1990-х, а на севере - с 2000 г. (рис. 2б).

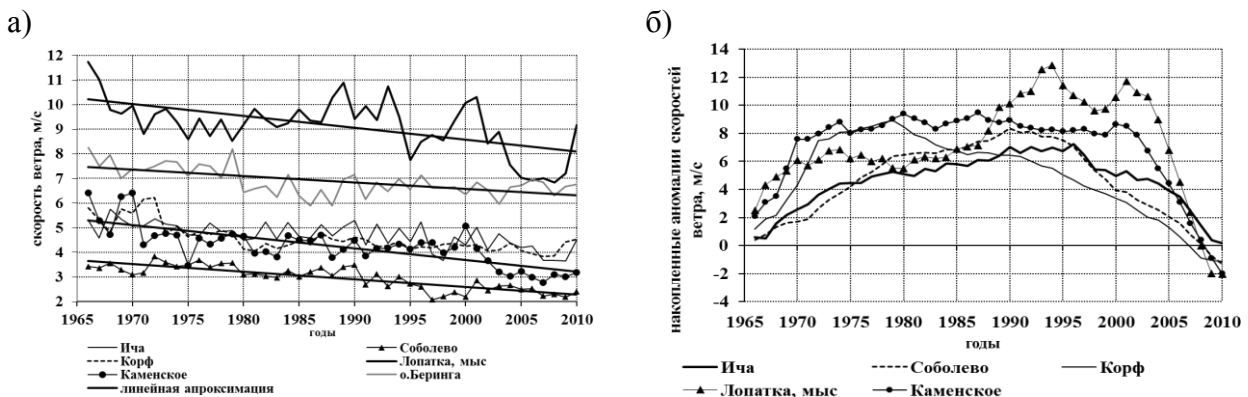


Рисунок 2. а) Изменение среднегодовых скоростей ветра; б) Накопленные аномалии средних годовых скоростей ветра

Выявлено 4 типа изменения средней за декаду скорости ветра (рис. 3): 1 тип характерен для северо-западного побережья, крайнего северо-востока полуострова и о. Беринга; 2 тип - для восточного побережья; 3 тип - для юго-запада и внутренних районов; 4 тип - для юга Камчатки.

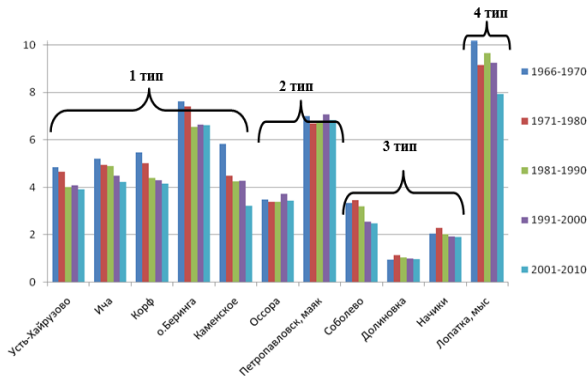


Рисунок 3. Типы изменения средних за декаду скоростей ветра



Рисунок 4. Годовой ход БИ и скорости ветра на ст. Осора

Для оценки интенсивности зонального переноса воздушных масс, определяющих ветровой режим на Камчатке, особенно в холодное время года, был разработан локальный индекс, названный нами «беринговоморским индексом» (БИ). БИ представляет собой меридиональный градиент давления (ΔP) между метеорологическими станциями Корф и о. Беринга и отражает интенсивность зонального переноса над западной частью Берингова моря (в зоне между 55 и 60°с.ш.). Если $\Delta P > 0$, то в этой широтной зоне наблюдается восточный перенос, если $\Delta P < 0$, то - западный. Изменчивость зональной составляющей скорости ветра во многом определяет ветровой режим на полуострове в этой широтной зоне, что подтверждается сходством годового хода скорости ветра и меридионального градиента давления (рис. 4). На северо-восточном побережье, за исключением июня, сентября и ноября режим скоростей ветра определяется величиной БИ. В январе-апреле выявлена преобладающая роль воздушного переноса, направленного с Берингова моря на северо-восточное побережье, север западного побережья и в долину р. Камчатка. С августа по декабрь (особенно ярко в ноябре) величина скорости ветра на западном побережье увеличивается при уменьшении БИ. Получены уравнения линейной регрессии, связывающие скорость ветра на северо-восточном побережье Камчатки с величиной БИ в январе, а на северо-западном - в ноябре.

Температура воздуха. Годовые ТВ на полуострове, за исключением юго-восточного и южного побережья, являются отрицательными. За последние 60 лет отмечается некоторое уменьшение «континентальности» климата, обусловленное отрицательной тенденцией (от 1°C - на севере до $5,5^\circ\text{C}$ - на юге) в динамике годовых амплитуд. На западном и северо-восточном побережьях амплитуды уменьшились на $3,5^\circ\text{C}$ (рис. 5). ТВ на юго-восточном побережье, за исключением июня-июля, выше по сравнению с юго-западным, особенно в зимние месяцы (на $6-7,5^\circ\text{C}$). Разница ТВ восток-запад уменьшилась на $0,9^\circ\text{C}$, что обусловлено большей скоростью потепления на западном побережье ($0,30^\circ\text{C}/10$ лет) по сравнению с восточным ($0,14^\circ\text{C}/10$ лет).

Тесные корреляционные связи между годовыми ТВ на исследуемых станциях полуострова ($r = 0,7-0,9$) позволяют вычислить среднюю в масштабе Камчатки ТВ. Примечательно, что в теплое время года (май-август) теснота связей между рядами месячных ТВ несколько уменьшается ($r = 0,5-0,7$).

Средняя по Камчатке годовая ТВ за исследуемый период характеризуется положительным статистически значимым линейным трендом. Десятилетие с 1971 по 1980 гг. было относительно холодным на всей территории полуострова, а в следующее десятилетие произошло резкое повышение ТВ. Экстремально теплые годы (2005, 2003, 2008, 1997 и 1996 - по мере уменьшения ТВ) отмечаются в последние 15 лет (рис. 6).

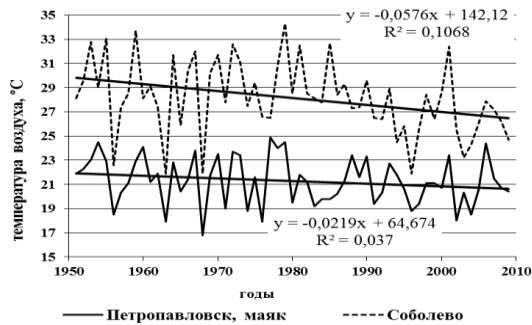


Рисунок 5. Изменчивость годовой амплитуды ТВ на западном и восточном побережьях

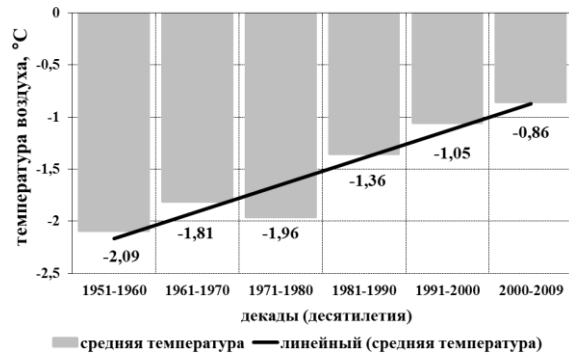


Рисунок 6. Изменения средней по Камчатке декадной ТВ

Пространственно-временные особенности изменения годовой ТВ (рис.7) таковы: более всего потеплело за последние 60 лет на западном побережье (1,5°C), затем в долине р. Камчатка (1,4°C), в горном и южном районах и на восточном побережье (1,2°C), а менее всего - на крайнем юге (0,8°C) и севере (0,6°C).

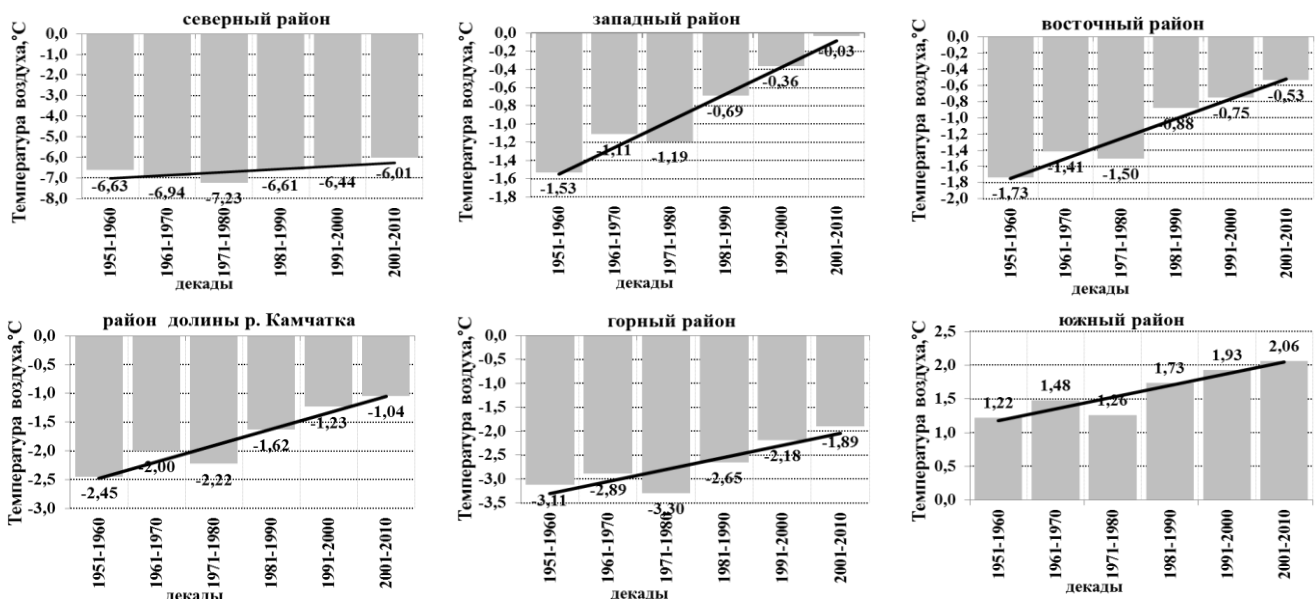


Рисунок 7. Изменения декадной температуры воздуха в климатических районах Камчатки

Характер изменения сезонных ТВ неоднозначен: на западе полуострова в первое 30-летие наибольшее потепление наблюдалось во 2-ю половину зимы, а во второе 30-летие - в 1-ю половину зимы. На восточном побережье наибольшее потепление отмечалось в предзимье и 2-ю половину зимы. В северном районе в первые 30 лет ТВ понижалась во все е.с.с., во вторые 30 лет похолодание характерно для 1-ой половины зимы, а для предзимья, 2-ой половины зимы и весны - потепление. В районах долины р. Камчатка, горном и южном в первые 30 лет наибольшее потепление наблюдалось в предзимье и 2-ю половину зимы, а во вторые 30 лет максимальное потепление проявилось в 1-ой и 2-

ой половине зимы, в районе же долины р. Камчатка - в 1-ой половине зимы и осенью. Градиент ТВ юг-север на полуострове зимой значительно увеличился (с 14 до 22,5°C). Одна из причин этого связана с похолоданием на севере полуострова и незначительным потеплением - на юге. Летом температурный градиент север-юг не изменился.

На рис. 8 показаны границы теплых и холодных эпох, выявленные по интегрально-разностным кривым нормированных аномалий ТВ относительно базового периода 1980-2009 гг. Январские ТВ на западном, юго-восточном побережьях, в горном районе и в долине р. Камчатки с середины 1990-х годов характеризуются наступлением теплой эпохи. На севере, северо-востоке и самом юге полуострова, наоборот, с начала 1980-х годов начался период относительного похолодания (рис. 8). Июльская картина изменения ТВ более однородная. С конца 1980-х годов во всех климатических районах началась эпоха относительно теплых июлей.

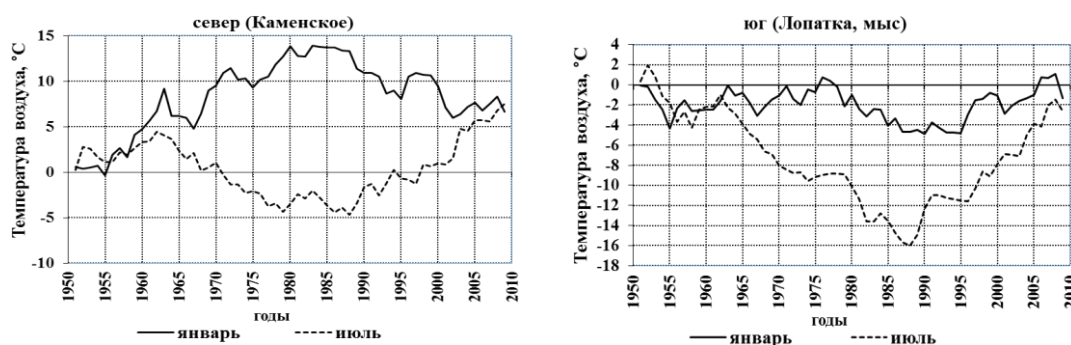


Рисунок 8. Интегрально-разностные кривые нормированных аномалий температуры воздуха зимой (январь) и летом (июль) на станциях Камчатки

Спектральный анализ, проведенный для рядов ТВ показал, что имеются некоторые отличия территориального и сезонного характера в продолжительности выявленных периодичностей. Согласно данным (табл. 2) существенный вклад в общую дисперсию температуры дают три основных масштаба изменчивости - 2-3, 6-8 и 12-15 - летняя.

Таблица 2

Периоды колебаний, соответствующие основным максимумам функции спектральной плотности рядов температуры в е.с.сезоны холодного полугодия (годы)

Станции / е.с.с.	Предзимье			1-я половина зимы			2-я половина зимы			Год		
Каменское	11,8	5,4	3,1	11,8	6,6	3,5	11,8	6,6	2,4	11,8	5,9	2,4
Усть-Хайрюзово	14,8	8,4	3,1	11,8	6,6	2,8	14,8	5,9	3,5	14,8	5,9	2,3
Ича	14,8	8,4	2,1	11,8	6,6	2,8	14,8	5,9	3,5	14,8	6,6	2,7
Соболево	14,8	8,4	3,9	11,8	6,6	2,9	11,8	5,9	2,6	11,8	6,6	2,7
Корф	19,7	4,9	3,1	11,8	6,6	3,3	11,8	3,5	2,4	11,8	5,9	2,7
Оссора	19,7	4,9	2,5	11,8	5,9	2,8	14,8	5,9	3,5	11,8	5,9	3,5
Петропавловск, маяк	11,8	6,6	2,8	11,8	6,6	2,8	11,8	5,9	2,1	11,8	6,6	2,3
Долиновка	9,8	6,6	3,1	11,8	6,6	2,8	11,8	5,9	3,5	11,8	5,9	2,7
Начики	14,8	8,4	3,9	19,7	8,4	2,9	11,8	9,8	2,1	11,8	6,6	2,7
Лопатка, мыс	9,8	3,9	2,5	8,4	5,9	3,4	11,8	6,6	2,6	11,8	5,9	2,3

Выявленный на Камчатке тренд потепления обусловлен резким повышением ТВ в холодное полугодие в середине 1990-х, произошедшим за счет совпадения во времени

перехода от холодной фазы к теплой в разных по продолжительности периодах колебаний ТВ (рис. 9). В середине 2000-х годов наблюдается частичное совпадение периодов и поэтому потепление не столь значительное по сравнению с серединой 1990-х гг.

Скорость повышения ТВ в теплое полугодие весьма невелика - от 0,15 до 0,41°C/10 лет, а в холодное она вдвое выше - от 0,43 до 0,99°C/10 лет. Практически все выявленные линейные тренды статистически значимы за исключением сезонов осени и 1-ой половины зимы (в отдельных районах полуострова). Вклад тренда в общую дисперсию ТВ в холодное полугодие составляет от 14 до 37%, а в теплое - от 10 до 20%.

Построены карты-схемы (рис. 10) изменения стандартного отклонения (σ) от первого тридцатилетия (1951-1980 гг.) ко второму (1981-2009 гг.), показывающие направление изменчивости сезонных ТВ. Для годовых ТВ характерно уменьшение дисперсии в южной части полуострова, а увеличение - в центральной и северной частях. Значительное потепление во 2-ю половину зимы на Камчатке, происходит на фоне межгодовой «стабилизации» сезонных ТВ, а летом и осенью незначительные темпы повышения ТВ - на фоне увеличения экстремальности климата.

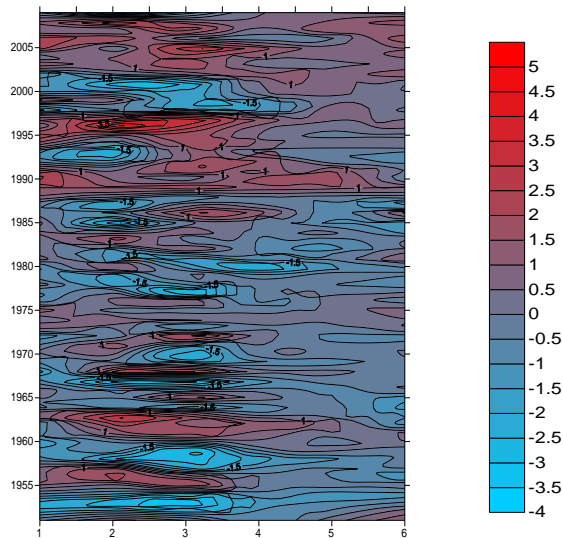


Рисунок 9. Временной разрез аномалий ТВ в е.с.с. на ст. Ича. На оси абсцисс нумерация е.с.с.: 1-предзимье, 2 -1-я половина зимы, 3 - 2-я половина зимы, 4-весна, 5-лето, 6-осень.

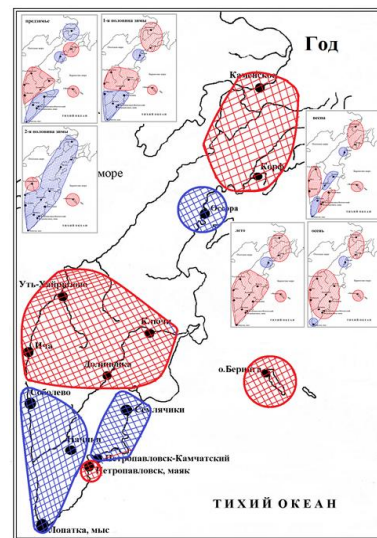


Рисунок 10. Изменение σ сезонных и годовых ТВ за последнее 30-летие по сравнению с предыдущим. Условные обозначения: красный цвет - увеличение σ , синий - уменьшение σ .

Ход аномалий годовой ТВ на Камчатке и по территории РФ синхронен. Единственное отличие состоит в том, что преобладание положительных аномалий по территории России приходится на середину 1970-х гг., а на Камчатке - на середину 1980-х гг. На фоне глобального потепления, наблюдаемого в Северном полушарии, темпы повышения ТВ по полушарию и на Камчатке одинаковы в самые теплые месяцы (июль-сентябрь). Медленнее по сравнению со среднеполушарными повышается температура в декабре-январе (самое холодное время года), а интенсивнее - в феврале-июне и октябре-ноябре (табл. 3). Наибольшая скорость повышения ТВ на Камчатке наблюдается в марте, она составляет 0,57°/10 лет, по полушарию в это время скорость также наибольшая, однако она в 3 раза меньше по сравнению с Камчаткой. Темпы повышения среднегодовой температуры на Камчатке (0,235° C/10 лет) почти в два раза выше, чем в среднем по полушарию (0,142° C/10).

Таблица 3

Средние темпы потепления климата (a) на Северном полушарии, Камчатке и ошибки их определения ($\pm m(a)$, °C/10лет) *

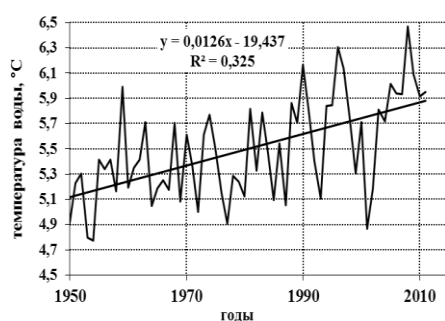
Пространственный масштаб осреднения		Месяцы												Год
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Северное полушарие	a	0,139	0,161	0,18	0,152	0,129	0,131	0,129	0,129	0,13	0,141	0,145	0,134	0,142
	$\pm m(a)$	0,026	0,027	0,021	0,016	0,012	0,014	0,015	0,016	0,016	0,019	0,021	0,021	0,014
Камчатка	a	0,08	0,24	0,57	0,23	0,20	0,24	0,13	0,11	0,13	0,29	0,50	0,07	0,24
	$\pm m(a)$	0,023	0,023	0,018	0,012	0,006	0,007	0,006	0,006	0,007	0,009	0,016	0,018	0,006

* Здесь, $m(a) = \pm \frac{\sigma(t)}{\sigma(\tau)} \sqrt{\frac{1-R^2}{n-2}}$, где R^2 - коэффициент детерминации; $\sigma(t)$ и $\sigma(\tau)$ - стандартное отклонение температуры воздуха и шкалы времени (соответственно); n - объем выборки ($n = 59$ лет).

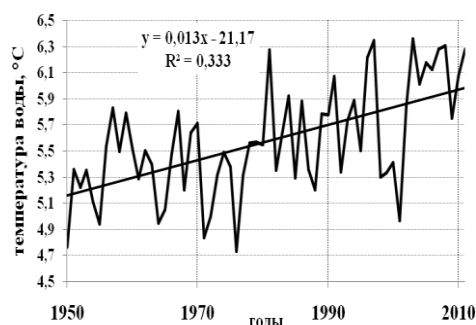
Корреляционный анализ между аномалиями ТВ Камчатки и Северного полушария (индекс СП) позволил выявить тесную асинхронную зависимость между ТВ в северном полушарии весной (апрель-май) и ТВ на Камчатке летом (июнь-июль).

Температура воды (ТПО). Для нахождения взаимосвязей между ТВ на Камчатке и температурой прибрежных морей привлекалась среднемесячная ТПО в реперных районах Охотского и Берингова морей за апрель-декабрь 1950-2010 гг. Реперные районы морей были определены сотрудниками отдела промысловой океанографии ТИНРО.

Аномалии ТПО в реперном районе Охотского моря в апреле-мае, в сентябре-ноябре определяют аномалии ТВ западного побережья на следующий месяц, а в октябре и декабре - через 3-6 месяцев. В свою очередь, аномалии ТВ в марте, июне-ноябре прямым образом определяют аномалии ТПО в реперном районе Охотского моря через месяц. Средняя ТПО в реперном районе Охотского моря повысилась на $0,12^\circ/10$ лет (рис. 11). Наибольшее потепление ТПО наблюдается в апреле ($0,3^\circ/10$ лет) и в октябре ($0,21^\circ/10$ лет). Средняя разница между ТВ на западе полуострова и ТПО реперного района Охотского моря уменьшилась на $0,5^\circ\text{C}$.



Охотское море



Берингово море

Рисунок 11. Многолетний ход средней за апрель-декабрь ТПО в реперных районах Охотского и Берингова морей за 1950-2010 гг.

Влияние весеннего (март) прогрева атмосферы сказывается на фоне ТПО реперного района Берингова моря через 2-6 месяцев. С мая по ноябрь аномалии ТВ в предшествующий месяц определяют аномалии ТПО в последующий месяц. Средняя разница между ТВ на северо-востоке полуострова и ТПО западной части Берингова моря уменьшилась на $0,6^\circ\text{C}$. Обусловлено это разными темпами повышения температур обеих

сред. Интенсивнее всего теплеет вода в декабре ($0,22^{\circ}/10$ лет), в октябре ($0,18^{\circ}/10$ лет) и в ноябре ($0,16^{\circ}/10$ лет). ТВ, в свою очередь, повышается более всего в ноябре ($0,59^{\circ}/10$ лет), в октябре ($0,45^{\circ}/10$ лет) и в марте ($0,47^{\circ}/10$ лет) (рис. 11).

Атмосферные осадки. На большей части территории, за исключением юго-востока, в теплое полугодие осадков выпадает больше, чем в холодное полугодие. Суммы атмосферных осадков (САО) холодного полугодия на юго-востоке превышают САО теплого полугодия - в 1,2-2 раза.

Некоторые исследователи предлагают использовать в качестве показателя муссонности климата отношение осадков июля (месяц максимума) к январю (месяц минимума). По их мнению, этот показатель должен быть не менее 10:1, т.е. осадков в самом влажном месяце должно быть в 10 раз больше, чем в самом сухом. По нашим расчетам показатель муссонности на станциях Камчатки колеблется от 0,5 до 2,6 (если относить осадки июля к осадкам января) и от 1,5 до 3,8 (если относить осадки октября к осадкам апреля). Таким образом, по сезонному распределению атмосферных осадков и показателю муссонности территория Камчатки не относится к муссонному типу климата.

Выявлены экстремально сухие и влажные, теплые и холодные е.с.с., представляющие собой первые пять лет по температуре и атмосферным осадкам, ранжированных сезонных и годовых рядов ТВ и САО.

Информация о вероятности совместного сочетания атмосферных осадков и температуры воздуха необходима для различных отраслей экономики и при составлении долгосрочных метеорологических прогнозов. Для этих целей построены ежемесячные двумерные таблицы повторяемости сочетания различных классов аномалий САО и ТВ для каждого климатического района Камчатки. Пример такой таблицы представлен ниже (табл. 4). При этом для климатических параметров определялись три класса аномалий. Для осадков в класс «норма» вошли САО в пределах от 80 до 120 % относительно среднего многолетнего значения. В классы «ниже нормы» и «выше нормы» включены САО меньше 80% и больше 120% соответственно. Для ТВ в класс «ниже нормы» вошла температура меньше $X_{ср} - 0,66 \sigma$, а в класс «выше нормы» - больше $X_{ср} + 0,66 \sigma$.

Таблица 4

Повторяемость сочетания классов аномалий САО и ТВ на станции Усть-Хайрюзово

январь						февраль					
Классы климатических параметров		Атмосферные осадки				Классы климатических параметров		Атмосферные осадки			
		ниже нормы <80	норма 81-120	выше нормы >120	сумма			ниже нормы <80	норма 81-120	выше нормы >120	сумма
Температура воздуха	ниже нормы <-2,6	5 (9,3)	5 (9,3)	6 (11,1)	16 (29,6)	Температура воздуха	ниже нормы <-2,4	8 (14,8)	1 (1,9)	3 (5,6)	12 (22,2)
	норма -2,6.....2,6	6 (11,1)	7 (13,0)	9 (16,7)	22 (40,7)		норма -2,4.....2,4	14 (25,9)	3 (5,6)	8 (14,8)	25 (46,3)
	выше нормы > 2,6	11 (20,4)	1 (1,9)	4 (7,4)	16 (29,6)		выше нормы > 2,4	7 (13,0)	5 (9,3)	5 (9,3)	17(31,5)
	сумма	22 (40,7)	13 (24,1)	19 (35,2)	54 (100)		сумма	29 (53,7)	9 (16,7)	16 (29,6)	54 (100)

В результате корреляционного анализа между САО на реперных станциях произведено районирование территории Камчатки по однородности изменения атмосферных осадков в теплое и холодное полугодия и в целом за год (рис. 12). В этих районах одновременно наблюдается сходство многолетнего хода сезонных осадков. В холодное полу-

годие выделяются 4 района: крайний юг; западное побережье (за исключением северной части); восток, юго-восток; север, внутренние районы полуострова. В теплое полугодие это: юг и юго-восток; северо-запад и западное побережье; северо-восточное побережье. Границы выделенных районов в теплое и холодное полугодия не совпадают. Эти районы имеют крайне сложную структуру, для них невозможно выделить однородные районы, сохраняющие неизменность своих границ для полугодий.

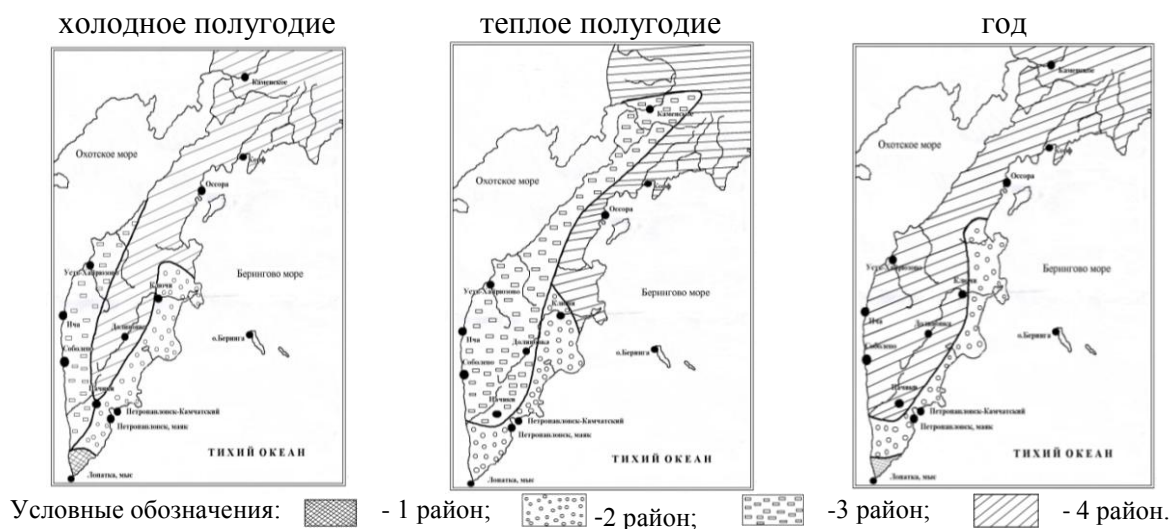


Рисунок 12. Районы однородного изменения сезонных и годовых сумм атмосферных осадков

Для оценки степени засушливости и увлажненности климата привлекался индекс Д.А. Педя (S). Он рассчитывается по формулам: для теплого периода - $S = \Delta T / \sigma_T - \Delta Q / \sigma_Q$, а для холодного - $S = \Delta T / \sigma_T + \Delta Q / \sigma_Q$, где ΔT - аномалия температуры воздуха, ΔQ - аномалия количества осадков, σ_T и σ_Q - стандартные отклонения T и Q . Атмосферная засуха в теплый период формируется при значениях $S \geq 2$, а при $S \leq -2$ условия характеризуются избыточным увлажнением. Если $S \geq 2$, то зима считается теплой и многоснежной, если $S \leq -2$, то холодной и малоснежной.

По индексу S избыточно увлажненные июни и августы чаще всего наблюдаются на северо-востоке Камчатки. Изменение S в летние месяцы характеризуется устойчивым повышением засушливости на западном, восточном побережьях и в долине р. Камчатка (рис. 13). Зимой изменений S не выявлено. Следует отметить, что две зимы подряд с 1995 по 1997 гг. индекс был экстремально высоким: аномалии ТВ достигали плюс 5-9°C, а САО - 160-240%.

Динамика годовых САО на полуострове неоднозначна: на севере, западном и северо-восточном побережьях, в долине р. Камчатка наблюдается уменьшение осадков, обусловленное эпохой преобладания отрицательных аномалий САО, которая наступила с начала 80-х годов XX столетия. На восточном побережье и в горном районе, наоборот, отмечается некоторое увеличение годовых САО, вызванное преобладанием положительных аномалий с середины 90-х годов XX столетия.

Многолетняя динамика средних по Камчатке САО характеризуется слабой отрицательной тенденцией (рис. 14).

Основной вклад в снижение САО внесли три последних десятилетия с 1981 по 2009 гг. Наибольшие устойчивые уменьшения САО практически во всех районах полуострова происходят в е.с.с. предзимье (октябрь-ноябрь). Они обусловлены длительной эпохой «сухих» предзимий на северо-востоке и в долине р. Камчатка с середины 1970-х

до середины 2000-х годов; на западе полуострова - с начала 1980-х по настоящее время. В е.с.с. осени отмечается увеличение САО, за исключением северо-востока, на всей территории.

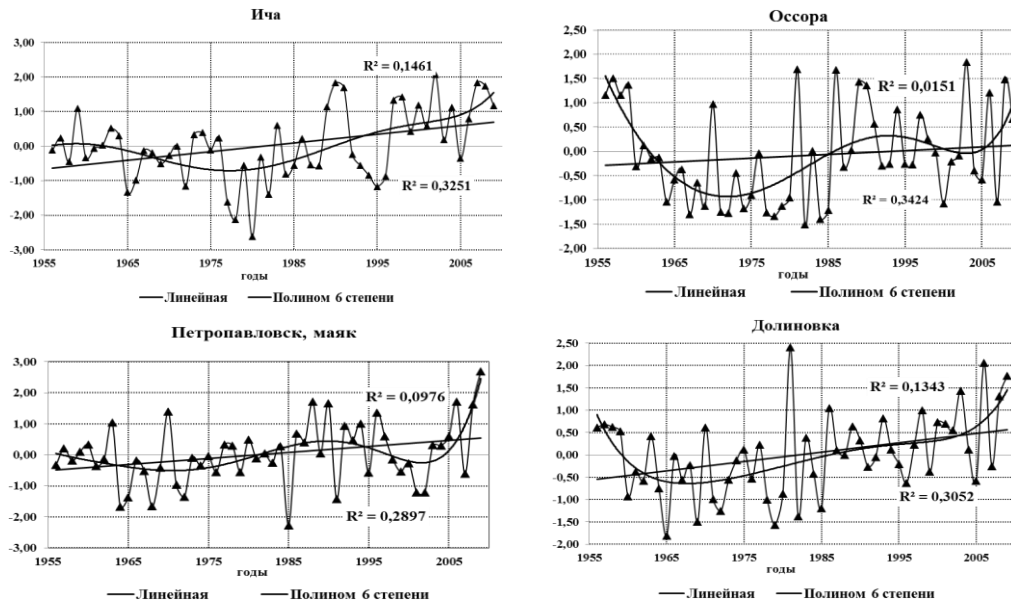


Рисунок 13. Динамика индекса S летом в отдельных районах Камчатки

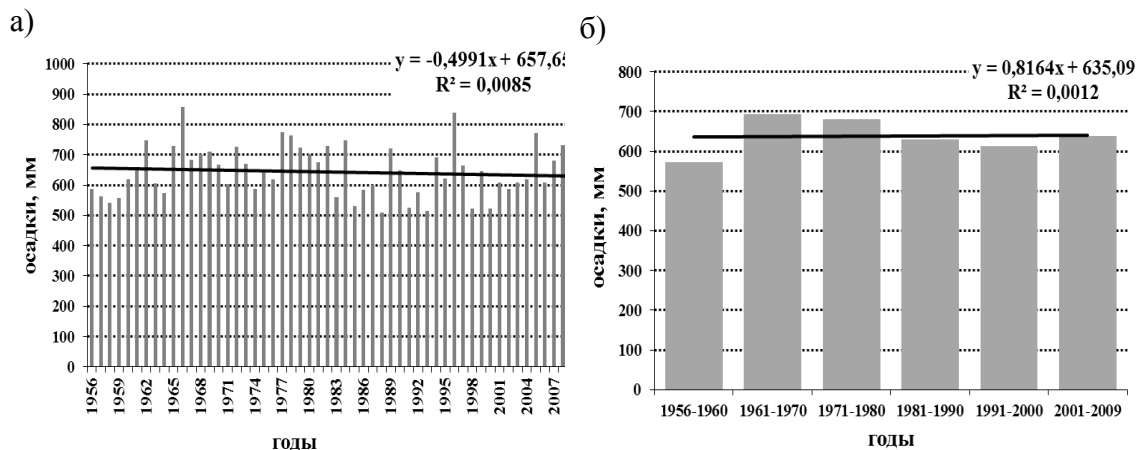


Рисунок 14. Многолетняя изменчивость средних по Камчатке годовых сумм осадков (а - ежегодные значения; б - декадные значения)

Выявленные закономерности изменения годовых САО связаны с совпадением «сухих» и влажных фаз в межгодовых вариациях сезонных осадков. На всей территории четко проявляются короткопериодные 2-4 -летние колебания и среднепериодные - 6-8-летние. Менее значимы колебания длительностью 11-12 и 15 лет.

Аномалии САО на западном побережье не зависят (за исключением е.с.с. весны) от ТПО в реперном районе Охотского моря. Однако в целом, положительные аномалии САО наблюдаются на фоне относительно пониженных ТПО. В е.с.сезон лето аномалии ТПО сказываются на степени увлажнения осеннего сезона. На северо-востоке Камчатки лишь осенью аномалии ТПО западной части Берингова моря прямым образом определяют аномалии САО.

Режим САО на северо-востоке Камчатки в целом определяется интенсивностью влагонесущих берингоморских потоков, которые характеризует индекс БИ (рис. 15). В мае, июне и в сентябре величина БИ тесно связана с САО.

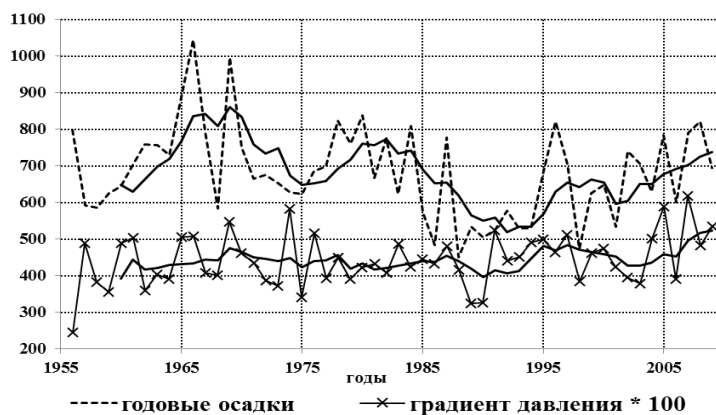


Рисунок 15. Многолетний ход годовых сумм осадков на ст. Оссора и индекса БИ (5-летнее осреднение)

В пятой главе исследовались связи климатических параметров с индексами атмосферной циркуляции. Оценка этих связей производилась с привлечением корреляционного анализа.

Индекс Блиновой. При усилении меридиональных переносов в средней тропосфере в октябре и январе ТВ на Камчатке повышается. В теплое время года повышение ТВ (за исключением северного района) происходит при усилении зонального переноса. Для всей территории выявлены асинхронные прямые зависимости между индексом Блиновой и ТВ в летне-осенний сезон со сдвигом 1-4 месяца.

Повышенное (пониженное) увлажнение на всем полуострове наблюдается при увеличении (уменьшении) индекса в январе-феврале и июне. В апреле, августе-сентябре и декабре на всей территории Камчатки с заблаговременностью 2-5 месяцев возможно использование индекса Блиновой для оценивания фона САО (повышенные значения индекса указывают на положительные аномалии САО и наоборот).

Региональная типизация атмосферной циркуляции над северной частью Тихого океана А.М. Поляковой в общих чертах характеризует макроциркуляционные процессы, обуславливающие экстремально влажные и сухие теплые полугодия на Камчатке. Экстремально сухие полугодия на всем полуострове вызваны аномально развитым ЮШ, а влажные - ОА типами. Однако, экстремально влажные и «сухие» сезоны в различных климатических районах полуострова могут быть обусловлены аномально высокой повторяемостью одного и того же типа атмосферной циркуляции. Объясняется это тем, что суммы месячных и сезонных осадков складываются из конкретных эпизодов (случаев) выпадения осадков. К примеру, аномально высокое количество осадков может быть вызвано фронтальными осадками одного-двух глубоких циклонов, в то время как, дефицит осадков может наблюдаться при выходе в исследуемый район большого числа неглубоких циклонов. Привлеченная к анализу типизация, охватывает атмосферные процессы над огромной площадью северной части Тихого океана и не конкретизирует интенсивность барических образований над исследуемой территорией.

Индекс WP. Положительная фаза индекса WP преобладала с середины 1970-х до середины 2000-х, в дальнейшем чаще стала наблюдаться отрицательная фаза. На фоне положительной фазы WP происходит увеличение атмосферных осадков: на западном побережье - в июне, сентябре-декабре; на севере - в феврале и июне; в долине р. Кам-

чатка - в июне-июле и сентябре; в горном районе - в июне. В отрицательную фазу индекса WP осадки увеличиваются на юго-восточном побережье в январе и ноябре; в долине р. Камчатка - в марте. Выявлены асинхронные зависимости между индексом WP и аномалиями атмосферных осадков в отдельных районах со сдвигом 2-7 месяцев.

Отрицательная фаза индекса WP обуславливает положительный фон аномалий ТВ (и наоборот) на большей части территории Камчатки во все сезоны кроме осени. Асинхронные связи выявлены между фазой индекса зимой и ТВ летом (кроме западного побережья); фазой индекса весной-летом и ТВ на севере и востоке полуострова через 2-6 месяцев.

Индекс PDO в течение исследуемого периода повышается. На Камчатке положительные аномалии годовых и сезонных ТВ наблюдаются на фоне повышенных значений PDO. На западном побережье отрицательная фаза PDO сопровождается положительными аномалиями ТВ в ноябре-декабре и наоборот.

В масштабе всего полуострова положительные аномалии годовых CAO наблюдаются на фоне отрицательной фазы PDO (и наоборот). Эта закономерность проявляется в западном, северо-восточном и южном районах зимой и весной. «Сигнал» особенностей фаз PDO прослеживается через 1-8 месяцев в аномалиях CAO. Так, осадки на западном побережье в феврале будут аномально повышены, если в январе PDO находился в отрицательной фазе.

Индекс PNA. Положительные аномалии температуры воздуха и атмосферных осадков в целом по Камчатке наблюдаются на фоне отрицательной фазы индекса PNA (и наоборот), особенно ярко это проявляется в переходные сезоны. Вклад индекса PNA в дисперсию климатических параметров в переходные сезоны составляет 10-25 %. Обнаруженные связи между климатическими параметрами и фазами индекса PNA указывают на возможные причины: 6-8-летней изменчивости атмосферных осадков; низкочастотных колебаний осадков на западе, северо-востоке и в долине р. Камчатка; влияния циклов PNA на осцилляции температуры воздуха восточного побережья Камчатки.

Индекс ЮК. С 1990 г. произошло значительное «учащение» колебаний индекса, преобладание отрицательных величин началось с 1976 г., что говорит об эпохе Эль-Ниньо, которая с 2000 г., по-видимому, закончилась. На фоне отрицательной эпохи индекса ЮК на Камчатке в целом происходит повышение ТВ и понижение CAO (рис. 16). Аномалии осадков в мае, июне и декабре на Камчатке следуют через 2-5 месяцев за величиной индекса ЮК (связь прямая). Выявленный сдвиг в отклике аномалий климатических параметров на изменение индекса ЮК составляет: 3-5 лет - для CAO и 6-8 лет - для ТВ. Влажные (сухие) периоды наступают через 3-5 лет, а повышение (понижение) ТВ происходит - через 6-8 лет после смены теплых (холодных) фаз ЮК.

Индекс АД (азиатская депрессия) характеризует состояние приземного барического поля над Южной Азией (13-35° с.ш.; 60-100° в.д.). Цикличность колебаний АД составляет 6-8 и 11-12 лет, что весьма схоже с периодичностями, выявленными в рядах климатических параметров. В целом, в эпоху развитой АД, температура на Камчатке повышается и, наоборот. Однако изменения в режиме ТВ следуют за изменениями в поле давления над Южной Азией через 2, 3, 4 и 7 лет. Теснота связи между ТВ и индексом усиливается при временном сдвиге 2-4 года. В этом случае вклад АД в амплитуду межгодовых колебаний средней за теплый период ТВ составляет 34%, тогда как синхронный вклад всего 12%. На изменение АД значительнее всего реагирует температурный режим северо-восточного побережья. CAO теплого полугодия в южном районе тесно связаны с АД -

увлажненное теплое полугодие на юге Камчатки сопряжено с хорошо развитой азиатской летней депрессией и, наоборот.

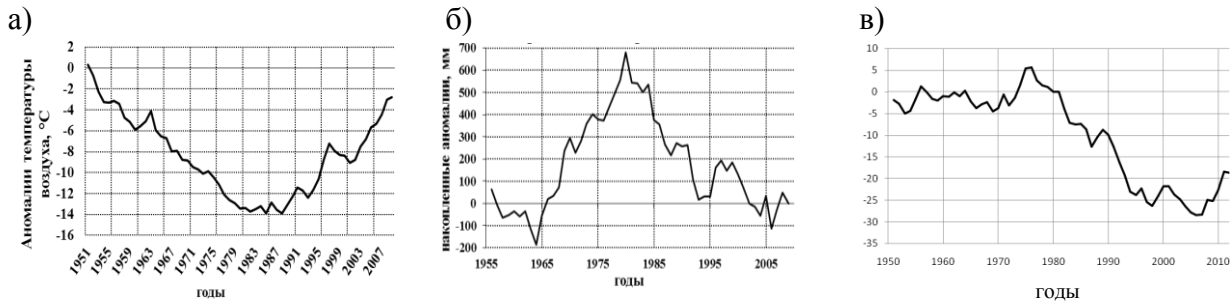


Рисунок 16. Интегрально-разностные кривые аномалий: а) средней по Камчатке годовой ТВ; б) годовых CAO во внутренних районах Камчатки; в) годовых значений ЮК

Индекс NAO. В теплую (холодную) фазу NAO в декабре-январе ТВ на Камчатке ниже (выше) средней, а летом, наоборот.

В теплую (холодную) фазу индекса, как правило, CAO на Камчатке в мае-июне и сентябре выше (ниже) нормы. В мае и октябре фаза индекса NAO через месяц, т.е. в июне и ноябре проявится в поле CAO на Камчатке: теплая фаза NAO определит через месяц дефицит осадков, а холодная - избыток.

Индекс АО. Усиленные западные потоки зимой (положительная фаза АО) вызывают похолодание на Камчатке, а летом - потепление. Повышенные значения индекса АО в январе-феврале, мае и в августе указывают со сдвигом от 1-4 и 5-6 месяцев на положительные аномалии ТВ в мае-июле и октябре. Влияние атмосферных процессов в Арктике сказывается на температурно-влажностном режиме севера Камчатки, особенно в холодное время года.

Выявленные нами тенденции изменения ТВ и CAO на Камчатке происходят на фоне значительных вариаций и тенденций в атмосфере Земли (табл. 5):

Таблица 5

Темпы изменения ТВ, CAO на Камчатке и индексов циркуляции (за 10 лет)

	ТВ	CAO	α	АД	WP	PDO	PNA	БИ	АО	ЮК
I	0,10	-1,04	-1,47	0,21	0,14	0,28	0,21	0,35	0,14	0,15
IV	0,22	-2,42	0,88	0,34	-0,01	0,33	0,07	0,19	0,04	-0,03
VII	0,13	-3,76	1,26	0,43	-0,21	0,26	0,12	-0,03	0,0	0,00
X	0,29	-2,92	-1,23	0,28	-0,14	0,14	-0,03	0,25	-0,06	-0,04

Примечание: α - индекс Блиновой

- в средней тропосфере умеренных широт северного полушария осенью и зимой усилились меридиональные переносы, а весной и летом - зональные (индекс Блиновой);

- в субтропиках континентальной части Азии весной и летом отмечено уменьшение интенсивности летней азиатской депрессии (индекс АД);

- одновременно в летне-осенний период интенсивность высотной фронтальной зоны над Азией и Тихим океаном уменьшилась, а зимой - увеличилась (индекс WP);

- отрицательные аномалии давления над северной частью Тихого океана за период 1950-2010 гг. преобладали во все сезоны (индекс PDO);

- повышение индекса PNA указывает на увеличение меридиональных барических градиентов между алеутской депрессией и гавайским антициклоном, что отразилось на

динамике индекса БИ - он повысился в сезоны (кроме летнего) существования алеутской депрессии.

Для оценки вклада атмосферной циркуляции в климатические изменения на Камчатке, строились регрессионные модели взаимосвязи ряда индексов атмосферной циркуляции с ТВ и CAO (множественная корреляция). Были привлечены наиболее связанные с температурно-влажностным режимом на Камчатке индексы: PNA, WP, АД, БИ и Блиновой. Для величины множественного коэффициента корреляции определены их пороговые значения r при уровне значимости $\alpha = 0,05$. При объеме выборки для CAO ($n = 54$ года) – $r = 0,414$, для ТВ ($n = 59$ лет) – $r = 0,489$. Фактические значения коэффициента множественной корреляции (табл. 6) превышают минимальное значение доверительного интервала для ТВ во все месяцы года, за исключением самых теплых месяцев (июль-сентябрь), а для CAO за исключением марта, августа и октября.

Таблица 6

Коэффициенты множественной корреляции между ТВ, CAO и индексами атмосферной циркуляции (Блиновой, PNA, WP, АД, БИ)

Предиктант	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
ТВ	0,709	0,649	0,470	0,588	0,545	0,507	0,457	0,346	0,284	0,561	0,572	0,565	0,570
CAO	0,445	0,467	0,388	0,517	0,433	0,641	0,529	0,080	0,433	0,265	0,519	0,587	0,409

Таким образом, в разработанной нами модели, колебаниями атмосферной циркуляции, то есть изменениями рассмотренных индексов, объясняется от 35 до 50% изменчивости осредненных по территории Камчатки ТВ и CAO в большую часть года.

В заключении перечислены основные результаты работы:

1. Среднегодовые скорости приземного ветра на Камчатке уменьшились на 1-2 м/с. Наибольший вклад в это уменьшение на севере, западном и северо-восточном побережьях вносит холодный сезон; в долине р. Камчатка - лето, на крайнем юге - зима и весна. На восточном побережье незначительный рост годовых скоростей ветра (на 0,2-0,4 м/с) обусловлен их повышением летом и весной. Эпоха уменьшенных скоростей ветра наступила на северо-востоке с начала 1980-х годов, на западном побережье - с начала 1990-х, а на севере и юге полуострова - с начала 2000-х гг.
2. Предложен авторский индекс - «берингоморский» (БИ), определяющий режим скоростей ветра на северо-востоке в большую часть года, а на западном побережье с августа по декабрь. Получены уравнения линейной регрессии, связывающие скорость ветра на северо-восточном побережье Камчатки с величиной БИ в январе, а на северо-западном - в ноябре.
3. В периоде 1951-2009 гг. на Камчатке выявлена статистически значимая тенденция потепления, наиболее выраженная в е.с.сезоны предзимье и 2-я половина зимы. В теплое полугодие скорость повышения температуры воздуха невелика (0,15-0,41°C/10 лет) по сравнению с холодным (0,43-0,99°C/10 лет). Интенсивнее всего потеплело на западном и восточном побережьях, в долине р. Камчатка и в горном районе (1,2-1,5°C), а на крайнем юге и севере - незначительно (0,6-0,8°C). Похолодание отмечается на крайнем севере и северо-востоке Камчатки только в 1-ю половину зимы. Вклад тренда в общую дисперсию температуры в холодное полугодие составляет от 14 до 37%, а в теплое - от 10 до 20%.

4. Выявлено некоторое уменьшение «континентальности» климата: годовые амплитуды температуры воздуха на севере и западном побережье уменьшились на 12-16%, в южной части полуострова - на 6-7%. Разница температур восток-запад уменьшилась на 0,9°C, что обусловлено большей скоростью повышения температуры воздуха на западном побережье по сравнению с восточным.
5. В периоде 1956-2009 гг. на большей части территории Камчатки прослеживается тенденция уменьшения годовых сумм атмосферных осадков (эпоха преобладания отрицательных аномалий наступила с начала 1980-х гг.), статистически значимая в е.с.сезон предзимье. На юго-восточном побережье и в горном районе отмечается некоторое увеличение годовых сумм атмосферных осадков (эпоха положительных аномалий наступила с середины 1990-х гг.) особенно выраженное в е.с.сезон осени.
6. Лето характеризуется устойчивым повышением атмосферной засушливости на западном, восточном побережье и в долине р. Камчатка. Избыточное увлажнение чаще отмечается на северо-востоке, а засухи - на юго-востоке - в начале лета.
7. В периоде 1950-2010 гг. выявлено большее повышение температуры воды в реперном районе Охотского моря, по сравнению с Беринговым, что отразилось на уменьшении (разница годовых температур восток-запад уменьшилась на 0,9°C) теплового различия между восточным и западным побережьями. Наиболее выражены темпы потепления в Охотском море в апреле (0,30°/10 лет) и в октябре (0,21°/10 лет), а в Беринговом - в октябре - декабре (0,16 - 0,22°/10 лет).
8. Изменения ТВ и САО на Камчатке происходят на фоне значительных вариаций и тенденций в атмосфере Земли и в тепловом состоянии Тихого океана. Температурно-влажностный режим на Камчатке наиболее связан с индексами: PNA, WP, АД, БИ и Блиновой. В разработанной регрессионной линейной модели от 35 до 50 % изменчивости климатических параметров описывается изменчивостью этих индексов.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

в журналах, рекомендованных ВАК:

1. **Шкаберда О.А.** Оценка изменений температуры воздуха на Камчатке за последние 60 лет / О.А. Шкаберда, Л.Н. Василевская // Вестник ДВО РАН. - 2013. - №3. - С.69-77.
2. Василевская Л.Н. Особенности долгопериодной изменчивости температуры, осадков и сроков наступления второй стадии летнего муссона в заливе Петра Великого /Л.Н. Василевская, **О.А. Шкаберда**, Б.Е. Ламаш, В.А. Платонова, Е.А. Кукаренко // Вестник ДВО РАН. - 2013.- №6.- С.71-82.
3. **Шкаберда О.А.** Режим и динамика приземного ветра на Камчатке и его связь с индексами Блиновой и берингоморским / О.А. Шкаберда, Л.Н. Василевская, Е.И. Устинова // Естественные и технические науки. - 2014. - №4. - С.86-94.
4. **Шкаберда О.А.** Режим и динамика атмосферных осадков на Камчатке во второй половине XX - начале XXI века / О.А. Шкаберда, Л.Н. Василевская, В.В. Ковбасюк // Естественные и технические науки. - 2014. - №4. - С.76-85.
5. **Шкаберда О.А.** Многолетняя изменчивость температурно-влажностного режима на полуострове Камчатка / О.А. Шкаберда, Л.Н. Василевская // Известия ТИНРО, 2014. - Т.178. - С.217-233.

опубликованные в других изданиях:

1. Василевская Л.Н. Особенности термического режима летнего дальневосточного муссона / Л.Н. Василевская, Н.Г. Юрчук, **О.А. Шкаберда**, Д.Н. Василевский // Современные геофизические и географические исследования на Дальнем Востоке России: Материалы 9-ой научной конференции. - Владивосток: ДВГУ, 2010. - С.13-16.
2. Василевская Л.Н. Исследование температурного режима на восточном побережье полуострова Камчатка / Л.Н. Василевская, **О.А. Шкаберда** // Современные геофизические и географические исследования на Дальнем Востоке России: Материалы 10-ой научной конференции. - Владивосток: ДВГУ, 2010. - С.16-25.
3. **Shkaberda O.** Investigation of the temperature regime on the Kamchatka Peninsula / O. Shkaberda, L. Vasilevskaya // Abstracts Xxv General Assembly IUGG. - Melbourne. JM02_2PP124.2011
4. **Shkaberda O.** Investigation of interactions between temperature and precipitation on Kamchatka Peninsula / O. Shkaberda, L. Vasilevskaya, V. Platonova // Abstracts 2nd International Symposium «Effects of Climate Change on the World's Oceans». Yeosu, Korea. - 2012. - P.260.
5. **Шкаберда О.А.** Особенности динамики температуры воздуха в различных климатических районах полуострова Камчатка / О.А. Шкаберда Л.Н. Василевская, Б.Е. Ламаш // Тезисы докладов Международной научной конференции по региональным проблемам гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды. Россия, Казань, 2012. - С. 233.
6. **Olga Skaberda, Lubov' Vasilevskaya and Stochkute Yulija** / «The relationship between the air temperature of East Kamchatka and the water temperature of western part of the Bering Sea» // PICES-2012 Effects of natural and anthropogenic stressors in the North Pacific ecosystems: Scientific challenges and possible solutions, Book of abstracts October 12-21, 2012 Hiroshima, Japan, 2012. - P.54.
7. **Shkaberda O.** Thermal interoperability between the peninsula of Kamchatka and the seas washing it / O. Shkaberda, L. Vasilevskaya, J. Stochkute // The 2nd Russia-China Symposium on Marine Science: Marine environmental and resources in XXI Century. Russia. Vladivostok, - 2012. - P.169-170.
8. **Шкаберда О.А.** Исследование сезонных температур воздуха на Камчатке / О.А. Шкаберда, Л.Н. Василевская // Материалы региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых Школы Естественных Наук ДВФУ. Владивосток, 2013. - С.45-47
9. **Шкаберда О.А.** Прогноз сильных осадков на Камчатке 9-10 декабря 2010 года / О.А. Шкаберда, Л.Н. Василевская, Ю.И. Сточкуте, Б.Е. Ламаш // Тезисы докладов Международной конференции: Дистанционное зондирование окружающей среды: научные и прикладные исследования в Азиатско-Тихоокеанском регионе, Россия. Владивосток, - 2013. - С.96.
10. **Lubov N. Vasilevskaya, Olga A. Shkaberda and Elena I. Ustinova** / «Recent climatic tendencies over the Kamchatka Peninsula and adjacent waters» // PICES-2014 Toward a better understanding of the North Pacific: Reflecting on the past and steering for the future, Book of abstracts October 16-26, 2014 Yeosu, Korea, 2014. - P.183.